



**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

UNDERBEVATTNING

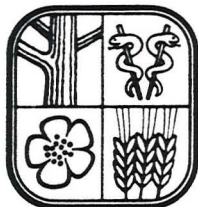
Studier av grödans tillväxt och vattenförbrukning vid olika djup till grundvattenytan på en lerig grovmo

Johan Benz

AVLOPPSVATTEN FÖR UNDERBEVATTNING

Försök med biologiskt renat avloppsvatten till underbevattning

Staffan Alinder



**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

UNDERBEVATTNING

Studier av grödans tillväxt och vattenförbrukning vid olika djup till grundvattenytan på en lerig grovmo

Johan Benz

AVLOPPSVATTEN FÖR UNDERBEVATTNING

Försök med biologiskt renat avloppsvatten till underbevattning

Staffan Alinder

UNDERBEVATTNING

Studier av grödans tillväxt och vattenförbrukning vid olika djup till grundvattenytan på en lerig grovmo.

Av Johan Benz

INLEDNING

I anslutning till VBBs projekt i Sölvesborg rörande bevattning av jordbruksmark med avloppsvatten från Sölvesborgs kommuns avloppsreningsverk, det så kallade Sölvesborgsprojektet, har avdelningen för Hydroteknik vid SLU åtagit sig att undersöka alternativa spridningsmetoder vid användande av förorenat vatten till jordbruksbevattning. En metod som skall studeras är så kallad underbevattning. Det innebär att man tillför grödan vatten genom att grundvattenytan hålles på en så hög nivå att tillräckligt med vatten kan transporteras upp kapillärt från grundvattenytan till rotzonen.

För att underbevattning skall vara en effektiv bevattningsmetod krävs bl a en hög genomsläpplighet i jorden, en god kapillär förmåga och i det närmaste helt plana fält med enhetlig jord.

För att undersöka om genomsläppligheten och den kapillära förmågan är tillräckliga kan man komplettera de i fält och laboratoriet gängse mätmetoderna med en metod av praktiskt studium av jorden i fråga under kontrollerade förhållanden. Metoden som innebär odling av gräs i kärl med olika grundvattenytor har utarbetats av agronom Hans Heiwall vid avdelningen för Hydroteknik. Lysimetertekniken har utarbetats av agronom Lave Persson.

Metoden användes våren 1981 för att undersöka den inom Sölvesborgs-området förekommande jordartens eventuella lämplighet för underbevattningsförsök i större skala.

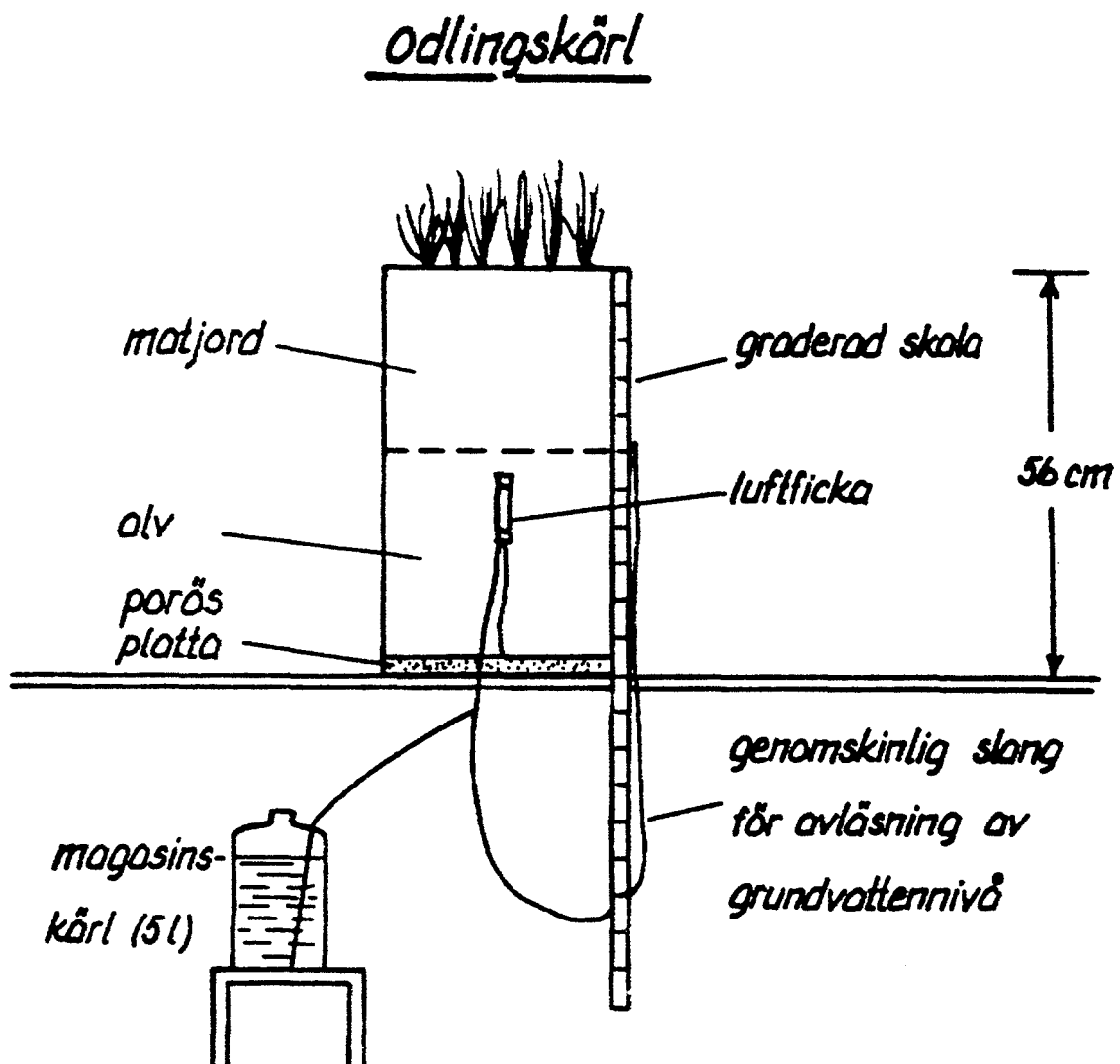
En liknande undersökning har tidigare genomförts vid avdelningen och redovisats av Heiwall (1980). Heiwalls rapport har legat till grund för utformningen av detta meddelande. I en rapport av Alinder (1986) har de allmänna förutsättningarna för underbevattning redovisats mera ingående.

Uppsala i maj 1987

Harry Linnér

KÄRLFÖRSÖKET GENOMFÖRANDE

De kärl som användes i försöket är tillverkade av plaströr (markavloppsrör) med en inre diameter på 29,5 cm (yta: 6,83 dm²), och en höjd på 56 cm. I botten på varje kärl finns en ca 2 cm tjock, porös platta. Utrymmet för jord är 54 cm högt (Se figur 1). Den porösa plattan fungerar som en ersättning för det jordmaterial som i naturen skulle legat djupare än 54 cm. Till den porösa plattan är en slang ansluten, och via denna kan jorden antingen dräneras av eller tillföras vatten genom att vattennivån i magasinskärlen ändras. På sidan av odlingskärl finns en graderad djupskala där man direkt kan avläsa grundvattennivån (dvs vattenytan i magasinskärlen). För att underlätta avläsning av grundvattenståndet finns en extra slang som löper intill skalan. Alla slangar är uppdragna till en luftficka, där eventuella luftbubblor samlas, vilka annars skulle kunna bryta förbindelsen mellan grundvattenytan och odlingskärls jordmaterial.



Figur 1. Principskiss över de i försöket använda odlingskärlen.

Schematic diagram of the Lysimeter-pots that were used in the experiment.

Vid fyllning av odlingskärnen uppfuktades först jordmaterialet (alven) till helt vattenmättat tillstånd. Därefter fylldes jorden succesivt på i ca 5 cm tjocka skikt. Under fyllningen var den porösa plattan kopplad till en vattensug och varje jordskikt fick bli avsuget innan nästa skikt fylldes på. Genom att materialet var helt vattenmättat flöt det ut och fördelade sig jämnt över ytan och under avsugningen erhöll det en viss packning. På detta vis fylldes kärnen med 29 cm alvjord ovanpå vilken 25 cm matjord lades. Matjorden var vid fyllningen relativt torr och packades enbart genom en lätt tilltryckning.

Efter fyllning ställdes kärnen ner i vatten för att jorden i alla kärnen (8 st) skulle erhålla samma vattenhalt. Grundvattenytan stod nu 40 cm under markytan i ca en veckas tid. Därefter dränerades jorden av tills den var i jämvikt med en grundvattenyta på 100 cm djup.

Efter detta gödslades jorden enligt rekommendationer som gäller för odling i kärnförsök. 16 g NPK 12.6.16 Mikro och 3,3 g trädgårdskalk nerbrukades under såbotten.

Den 17/12 1980 såddes engelskt rajgräs. Utsädesmängden avpassades så att det såddes ett frö per kvadratcentimeter. Kärnen ställdes i växthus och ljuset reglerades så att belysningen var tänd 16 timmar per dygn. Temperaturen var mellan 15 och 25 grader på dagen och omkring 10 grader på natten.

Uppkomsten skedde kring den 29/12 och 14 dagar senare påbörjades underbevattningen. I kärnen 1 & 2 ställdes grundvattenytan på 40 cm under markytan, i kärnen 3 & 4 på 60 cm och i kärnen 5 & 6 på 80 cm under markytan. I kärnen 7 & 8 fick grundvattenytan stå kvar på 100 cm. Vattenytan i magasinskärnen hölls därefter på en relativt konstant nivå genom täta påfyllningar och vattenförbrukningen mättes genom att mängden tillfört vatten uppmättes. Ändringar i jordmaterialets vattenhalt registrerades genom att kärlet vägdes med jämna mellanrum. Grödans vattenförbrukning kunde räknas fram genom att man utgick från mängden påfyllt vatten och korrigerade denna med hänsyn till uppmätt viktninskning/ökning.

Tillväxten registrerades genom att gräset klipptes med en till två veckors mellanrum varefter skörden vägdes både före och efter torkning.

Försöket pågick ca tre månader från grödans uppkomst räknat. Den 26/3 bevattnades kärnen 1, 3, 5 och 7 med 30 mm på ytan och effekten av denna bevattning studerades de närmaste dagarna. Därefter avslutades försöket med att vattenytan i kärnen 2, 4 och 8 höjdes till markytan för att se hur lång tid det skulle ta för jorden att vattenmättas.

Försöket avslutades den 14/4 då odlingskärnen tömdes och rotutvecklingen studerades i de olika kärnen.

BESKRIVNING AV JORDMATERIALET

Mekanisk sammansättning

Den jord som användes var hämtad från gården Hörby vid Mjällby i Blekinge. Matjorden utgjordes av en mullfattig sandig grovmo och alven av en sandig grovmo. Materialets mekaniska sammansättning framgår närmare av nedanstående tabell. I tabellen är också materialets genomsläpplighet (k-värde) angivet och man ser där att genomsläppligheten i alven är omkring 240 mm/dygn. För att underbevattnings skall kunna fungera tillfredsställande bör genomsläppligheten vara minst 1000 mm/dygn.

Tabell 1. Mekanisk sammansättning på jordmaterialet samt materialets genomsläpplighet (k-värde).

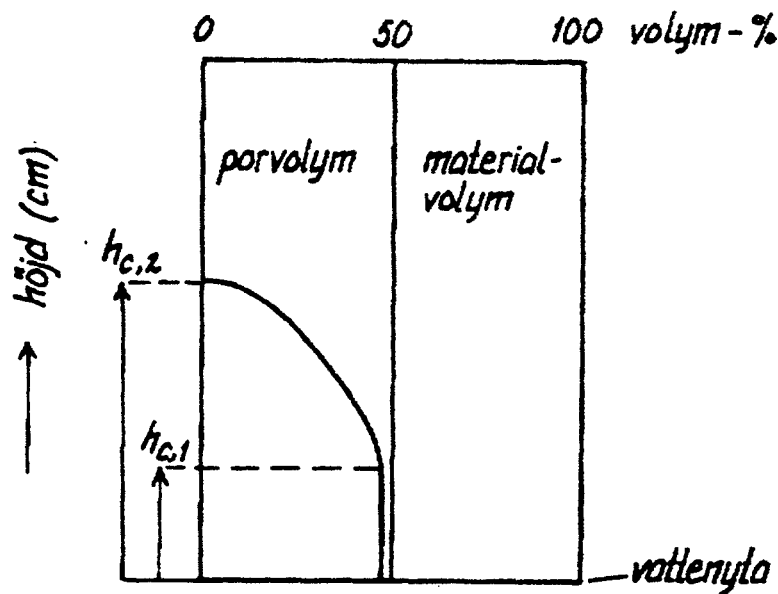
Particle size distribution and permeability of the soil.

%	Matjord <i>Topsoil</i>	Alv <i>Subsoil</i>
Mull / <i>Org. matter</i>	1,8	0,2
Grovsand / <i>Sand</i>	2,5	1,2
Mellansand / "	42,5	22,6
Grovmo / "	43,1	54,7
Finmo / <i>Silt</i>	3,1	9,5
Grovmjåla / "	1,4	4,3
Finmjåla / "	0,5	0,8
Ler / <i>Clay</i>	5,1	6,1
Genomslåpplighet (mm/dygn) <i>Permeability</i>		240

Kapillär stighöjd

Den kapillära stighöjden i alvjorden har undersökts. Det gick till så att rör av plexiglas fylldes och packades med torr jord. Rören placerades där-
efter vertikalt med den nedre delen nedsänkt ca 1 cm i vatten. Efter 10
dagar avlästes den kapillära stighöjden. Den övre (maximala) stighöjden,
 $h_{c,2}$ var 90 cm och den undre stighöjden, $h_{c,1}$ var ca 20 cm.

Värdet $h_{c,2}$ är den höjd dit vattnet maximalt kan stiga kapillärt i ett
från bärjån torrt jordmaterial. Gränsen $h_{c,1}$ är den höjd över grundvatten-
ytan dit vattenhalten i jordmaterialet är tämligen konstant när den ka-
pillära stigningen har nått sitt jämviktsläge (Figur 2).

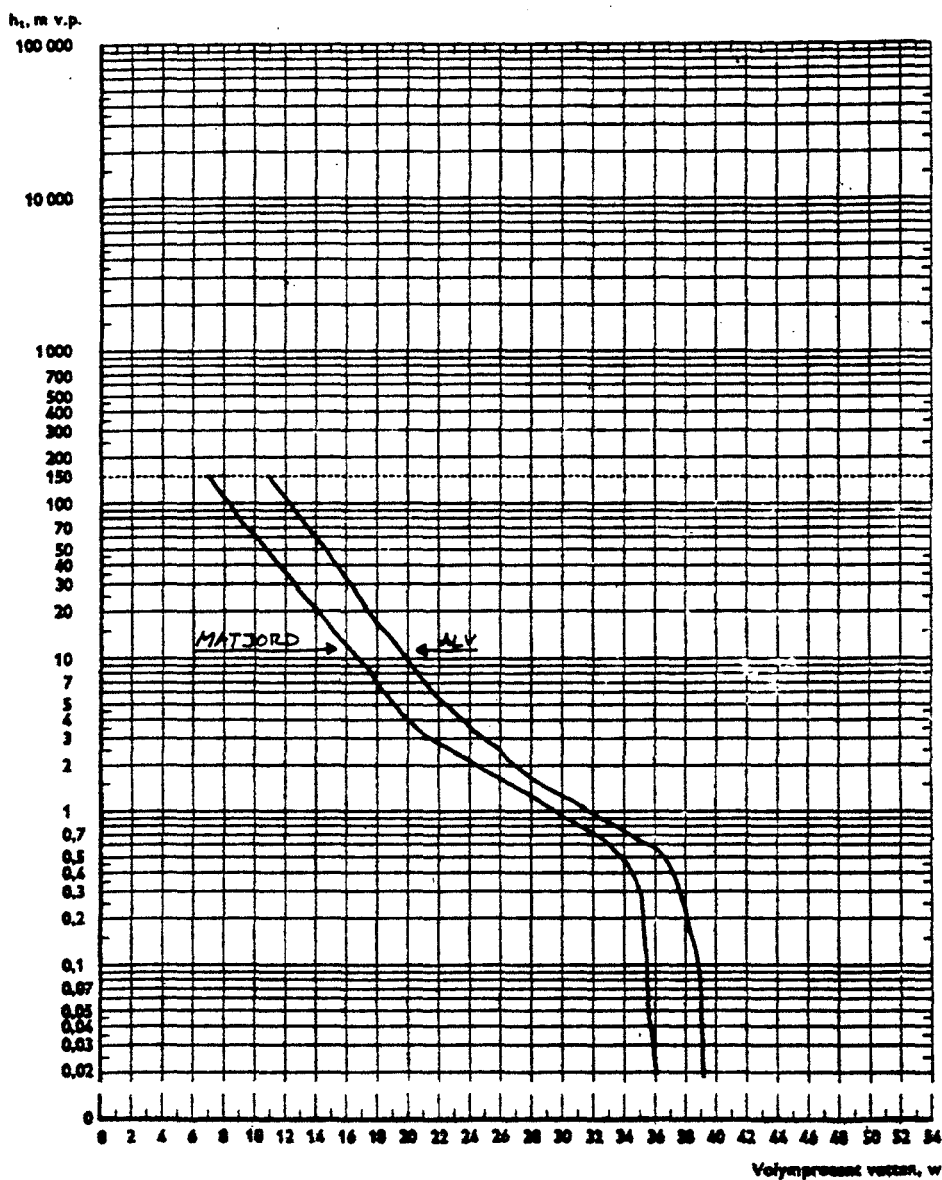


Figur 2. Principskiss över vattenhaltsfördelningen vid kapillär stigning i ett från början torrt jordmaterial (efter Andersson 1960).

Schematic diagram of soil water distribution at capillary rise in a dry soil.

Bindningskaraktäristik

För att undersöka jordmaterialets vattenhållande förmåga har avsugningar med olika vattenavförande tryck utförts. Resultaten visas i bindningsdiagrammet nedan (Figur 3). På den vertikala axeln visas vattenavförande tryck (h_t) i meter vattenpelare, m vp, och på den horisontella axeln anges volymsprocent vatten, w. Porvolymen för matjorden och alven är ca 40 %. Man ser i diagrammet att vid ett vattenavförande tryck på ca 1 m vp har både matjordens och alvens porsystem börjat tömmas på en del av sitt vatteninnehåll.

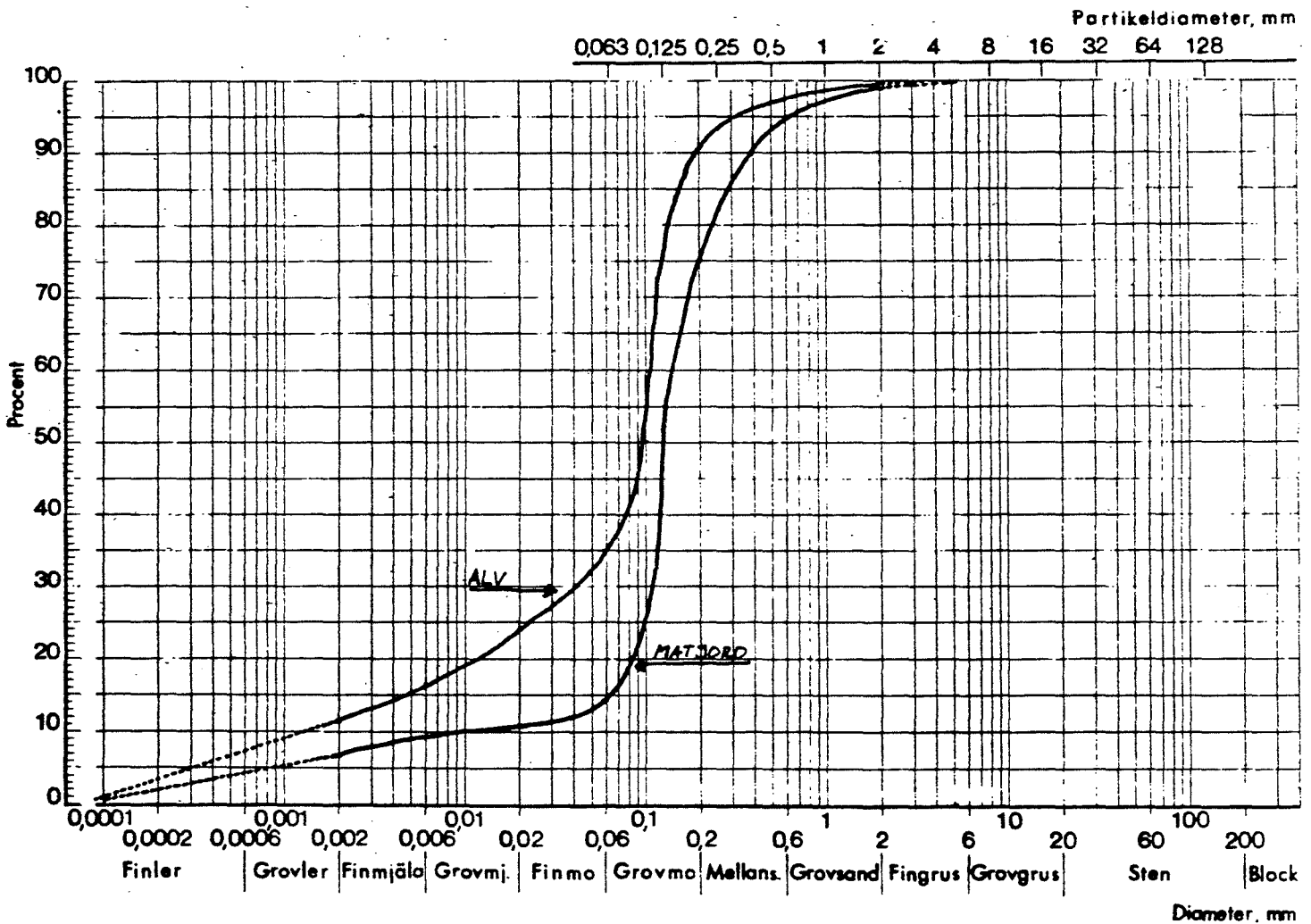


Figur 3. Vattenbindningskaraktäristik. Ur bindningsdiagrammet kan man se hur mycket växttillgängligt vatten jorden maximalt kan innehålla vid olika grundvattendjup.

Relation between matric water retention and water content.

Matjorden har en sämre vattenhållande förmåga än alven. Vid fältkapacitet, dvs vid ett avsugande tryck på ca 1 m vp, innehåller matjorden 29,5 volymsprocent vatten medan alven innehåller 32 volymsprocent vatten. Den bättre vattenhållande förmågan hos alven beror med stor sannolikhet på den högre lerhalten, som visas i det kumulativa partikelstorleksfördelningsdiagrammet (Figur 4). Den större andelen fint material som alven uppvisar förklarar dess vattenhållande egenskaper.

Vid vissningsgränsen, dvs ett vattenavförande tryck på ca 150 m vp, innehåller matjorden 7 volymsprocent vatten medan alven innehåller 11 volymsprocent.



Figur 4. Kumulativ partikelstorleksfördelning.

Accumulative particle size distribution

RESULTAT

Tillväxt

Som tidigare nämnts klipptes gräset med en till två veckors mellanrum. Tiden mellan uppkomst och första skörd var 18 dagar. I tabell 2 nedan redovisas skörden från samtliga skördetillfällen. I början skördades gräset med relativt täta intervall och i slutet var det längre mellan skördetillfällena. Det ingick två upprepningar i varje försöksled och värdena i tabellen är medeltal av de två upprepningarna.

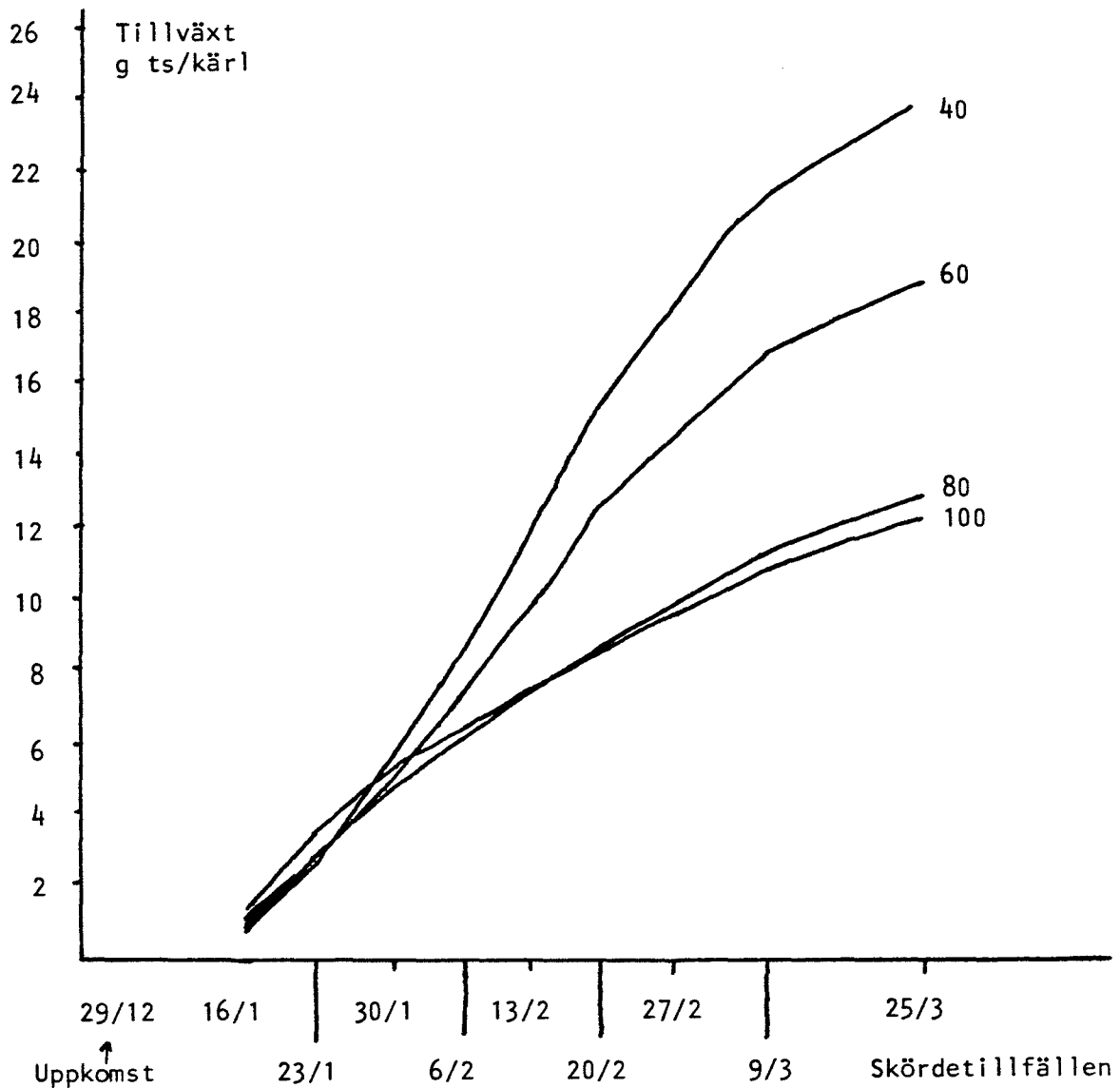
Tabell 2. Avkastning från odling vid fyra olika grundvattenstånd.

Yield (grams of dry matter) of grass at four different groundwater levels.

Skörde- tidpunkt	Skörd i gram ts per kärl vid olika grundvattendjup			
	<u>40 cm</u>	<u>60 cm</u>	<u>80 cm</u>	<u>100 cm</u>
16/1	0,80	0,95	1,00	1,20
23/1	1,85	1,80	1,70	2,00
30/1	2,55	2,10	1,80	1,80
6/2	2,90	2,35	1,50	1,25
13/2	3,55	2,60	1,30	1,10
20/2	3,55	2,60	1,30	1,10
27/2	2,90	2,20	1,20	1,05
9/3	3,15	2,30	1,35	1,25
25/3	2,50	1,90	1,80	1,50
Totalskörd	23,75	18,80	12,95	12,25

Att direkt från tabellvärdena göra en omräkning till kg/ha är ganska ointressant då förhållandena vid ett kärllförsök är olika de som råder i fält. Värdena bör därför endast användas för att se skillnader i avkastning mellan de olika försöksleden.

I figur 5 på nästa sida är skörderesultaten avsatta i ett diagram där skörden från de olika skördetillfällena summerats. Man ser där att fram till ca en månad efter uppkomsten (30/1) var tillväxten i stort sett lika i samtliga försöksled. Efter denna tidpunkt avtog tillväxten i försöksleden med 80 och 100 cm grundvattenstånd. Däremot fortsatte tillväxten ungefär i samma takt för ledet med 60 cm och ökade för ledet med en grundvattenyta på 40 cm. Trots skillnaderna i tillväxthastighet mellan de båda sistnämnda var det dock en kontinuerlig tillväxt under hela perioden. Däremot var tillväxten mycket långsam i leden med 80 och 100 cm grundvattenstånd under den sista månaden försöket pågick.



Figur 5. Avkastningsresultaten från tabell 2 redovisade i diagramform

The results from table 2 plotted in a diagram

Vid försökets start var jorden i samtliga led i jämvikt med en grundvattenyta på 100 cm. Det vatteninnehåll en sådan jord har räcker tydligen till att täcka grödans vattenbehov under ca en månad efter uppkomst. Sedan är jordens vattenmagasin såpass uttömt att tillväxten hämmas om inget ytterligare vatten tillföres rotzonen.

Av de rotstudier som gjordes vid försökets avslutning framgick att grödans rotutveckling var i huvudsak begränsad till matjorden. Största rot djup varierade mellan 10 och 25 cm i de olika kärlen, de djupaste i kärlen med högsta grundvattenstånden. Då det effektiva rot djupet alltså inte var mer än 25 cm maximalt, betyder det att vatten från en grundvattenyta på 40 cm måste transporteras 15 cm (kapillärt) upp till rotzonen. För en grundvattenyta på 60 cm blir motsvarande sträcka 35 cm.

Vattenförbrukning

Med vattenförbrukning avses härfter den totala evapotranspirationen, dvs summan av det vatten som tagits upp och använts av grödan (transpirationen) och avdunstningen (evaporationen) direkt från jordytan i kärlet. I tabell 3 redovisas vattenförbrukningen vid de olika grundvattennivåerna under försöket. Dels för hela perioden (87 dagar) och dels för den senare delen av försöket (34 dagar). Tabellen anger dels vattenförbrukningen i mm totalt och dels i mm/dygn.

Tabell 3. Vattenförbrukning under olika perioder för de fyra grundvattennivåerna

Evapotranspiration during different periods at differing depths to the groundwater table.

Period		Avdunstning i mm vid olika grundvattennivå			
		40 cm	60 cm	80 cm	100 cm
Hela perioden (29/12 - 25/3)	Totalt	226	156	115	107
	Per dygn	2,7	1,8	1,3	1,2
Senare delen (20/2 - 25/3)	Totalt	108	74	43	37
	Per dygn	3,2	2,2	1,3	1,1

Man ser att vattenförbrukningen för hela perioden har varit mer än dubbelt så stor för ledet med 40 cm grundvattenstånd jämfört med det led som haft 100 cm till grundvattenytan. Vattenförbrukningen har i leden med 40 cm och 60 cm varit större under senare delen av perioden jämfört med hela försöksperioden. Detta beror på att vattenförbrukningen var begränsad i början, innan grödan etablerat ett väl täckande bestånd. Vattenförbrukningen liksom tillväxttakten har varit mycket låg i ledet med 100 cm grundvattenstånd under senare delen av försöket.

I tabell 4 framgår hur fördelningen mellan vatten tillfört underifrån och vatten taget från markens magasin under försöksperioden utfallit för de olika försöksleden.

Tabell 4. Fördelning av det förbrukade vattnet mellan vatten tillfört genom underbevattning och befintligt markvatten under hela respektive senare delen av perioden.

Ratio of water taken from subirrigation and water taken from the soil's natural reservoirs during the two periods.

Andel (%)	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm
Hela perioden:				
Underbevattning (kapillärt)	87	80	24	19
Befintligt markvatten (viktninskning)	13	20	76	81
Senare delen:				
Underbevattning	72	78	27	34
Befintligt markvatten	28	22	73	66

Man ser i tabell 4 att kärnen med grundvattenytan på 40 cm djup under hela perioden tagit nästan allt sitt vatten från underbevattningen. Men inte riktigt allt. Detta innebär att marken inte klarat att i tillräckligt hög hastighet kapillärt transportera upp vatten till rot-zonen för att helt täcka grödans behov. Istället har en del vatten från markens porer fått tas vilket i längden leder till en uttorkning av jorden. Man ser också att mot slutet av perioden, då vattenförlusten från denna gröda var som störst, fick en större del tas från det befintliga markvattnet. Den andra extremen, med en grundvattenyta på 100 cm, uppvisar i det närmaste ett helt motsatt förhållande. Här har nästan allt vatten som förbrukats tagits från det befintliga markvattnet vilket lett till en mycket kraftig uttorkning. En liten mängd vatten tillfört genom underbevattning har kunnat utnyttjas och denna har troligtvis tillförts ganska konstant genom kapillär upptransport. När så den totala vattenförbrukningen mot periodens slut minskat, har det kapillära vattnets andel i totala tillförseln ökat en del. Detta förklarar förhållandet 34/66 för 100-centimeters-ledet i tabell 4.

Det vattenbindande trycket

I tre av de åtta kärlen placerades nio stycken mätsonder in vid packningen, tre i vart kärl på 10, 25 respektive 40 cm djup. Dessa mäter på termoelektrisk väg det vattenbindande trycket i den omgivande marken (en form av tensiometer). Med jämna mellanrum under försöket mättes och bokfördes värden som senare omräknades till vattenbindande tryck. Apparaturen (MCS 6000 från Moisture Control Systems, USA) som för tillfället var ny och oprövad bjöd på en del problem varför de redovisade värdena får anses visa tendenser snarare än precisa värden.

Tabell 5. Vattenbindande trycket under försöket vid tre nivåer och tre olika grundvattenstånd.

The water tension in the soil at three levels in the profile and at three different depths to the groundwater table.

Grundvattenyta Mätdjup (cm)	Vattenbindande trycket i m vp								
	40 cm			60 cm			100 cm		
	10	25	40	10	25	40	10	25	40
Datum:									
15/12	1,9		1,1						
17/12	1,1		1,1				1,7		
7/1	1,4		1,0	1,1				1,1	1,1
12/1	2,1			1,9			2,2	1,6	
14/1	2,0			2,1			2,6		
20/1	2,0	1,2	1,3	2,3	1,6		4,5	2,3	
22/1							5,5	2,7	1,1
30/1	2,2	1,4	1,3	2,8	1,7		14	4,9	1,1
3/2	3,0							6,5	
6/2	3,5	1,3	1,3	3,8	1,9		30	7,7	1,2
10/2	3,6			4,9			55		
24/2	4,1	1,2		4,6	3,3		140	15	3,7
4/3	5,4	1,2		44	3,9		150+	18	8,7
17/3	8,7	1,2		45	4,8		150+	45	15
26/3	15	1,3		140	4,9		150+	75	100

Man kan, i tabell 5, relativt tydligt se att markens vattenförråd räcker ett tag men sedan går det fort mot vissningsgränsen som ligger kring 150 m vp. Alla leden är vid 10 cm-nivån med till omkring en månad efter uppkomst. Därefter börjar det bli ont om vatten i rot-zonen i kärlet med en grundvattenyta på 100 cm. En månad senare är kärlet med 60 cm framme vid samma punkt och man anar mot slutet av försöket att den stadiga ökningen i vattenbindande tryck som märks i kärlet med grundvattenytan på 40 cm djup tenderar att utvecklas som de andra två. Från och med 24/2 har vattenbindande trycket i rot-zonen hos kärlet med 100 cm nått vissningsgränsen, vilket också bekräftades av att grödan från den tidpunkten vissnade.

IAKTTAGELSER MOT SLUTET AV FÖRSÖKET

Efter den 26/3 då försöket pågått i tre månader från grödans uppkomst räknat bevattnades det ena försöksledet med 30 mm på ytan av lysimetern. Efter fem dagar studerades samtliga kärl som innan bevattningen sattes in uppvisat likartade utseenden mellan parallellerna. Det obevattnade ledet visade nu, liksom vid starten 26/3, följande utseende:

G.v.y	Iakttagelser
40 cm	Viss grönska kring kanten, visset i mitten
60 cm	D:o men den vissna fläcken var här större
80 cm	Tilltagande vissning
100 cm	Helt vissnat

Det bevattnade ledet uppvisade följande utseende:

G.v.y.	Iakttagelser
40 cm	Relativt frodig grönska och betydligt jämnare än obev.
60 cm	Något torrare än 40 cm men fortfarande bara någon vissnad i mitten
80 cm	Tilltagande vissning i mitten
100 cm	Utseende som 40 cm-ledet i obevattnade avdelningen

Det är helt tydligt att det bevattnade ledet har tillgodogjort sig bevattningen och att den varit behövlig för grödans fortsatta utveckling.

Efter att dessa iakttagelser gjorts avslutade försöket med att man i tre av de i det obevattnade försöksledet ingående kärlen höjde grundvattenytan i nivå med markytan. Detta gjordes genom att höja upp magasinsskärlet i höjd med lysimeterns övre kant (se figur 1). Vattnet fick nu kapillärt stiga från den porösa bottenplattan upp till markytan. De tre lysimetrarna vägdes kontinuerligt och viktsökningen noterades. Efter viss tid upphörde viktsökningen och kärlet ansågs ha uppnått en stabil vattenhalt. Som väntat uppnådde kärlet med tidigare 40 cm till grundvattenytan sitt stabila tillstånd först och kärlet med tidigare 100 cm till grundvattenytan sitt sist.

Tidpunkt (Dagar)	Vikt i kg för:					
	Rör 40 cm		Rör 60 cm		Rör 100 cm	
		ökn.		ökn.		ökn.
0	75,5	—	74,5	—	72	—
1	77,5	2	77,5	3	74	2
3	78	0,5	79	1,5	76	2
6	78,5	0,5	79,5	0,5	78,5	2,5
9	79	0,5	80	0,5	79,5	1
14	79,5	0,5	80	0	80,5	1
Därefter	Stabil	—	Stabil	—	Stabil	—
S:a viktökning (kg)	4,0	—	5,5	—	8,5	—

SLUTSATS

Avsikten med dessa kärllförsök var främst att bedöma Hörbyjordens lämplighet för försök med underbevattning. Hörby-jorden karaktäriseras framförallt av sin homogena textur, som domineras helt av kornstorleksfraktionerna grovmo och mellansand. I matjorden utgör dessa två fraktioner tillsammans inte mindre än 80 % av materialet, vilket återspeglas på jordens egenskaper.

Jorden uppvisar således en mycket svag struktur, och detta medför att rötterna får mycket svårt att tränga ner till några större djup. Markvattenmagasinet är också relativt dåligt, eftersom den vattenhållande förmågan i en jordart som denna är mycket låg. Båda dessa faktorer medverkar till att göra jorden torkkänslig och grödan blir därför helt beroende av att vatten tillförs med jämna intervall, antingen som regn eller med hjälp av bevattning.

Samtliga observationer som gjorts under försökets gång, visar att om underbevattningen ska ge önskat resultat så måste grundvattenytan hållas på en mycket hög nivå, dvs som lägst ca 0,4 m under markytan, för att optimal vattentillförsel ska kunna säkerställas. Detta gäller dock endast under förutsättning att inget vatten alls tillförs ovanifrån.

Under fältförhållanden är dock detta högst osannolikt, och försöken visar också att vattenförsörjningen hjälptes upp betydligt då 30 mm vatten tillfördes uppför vid ett tillfälle mot slutet av försöket. Det är också troligt att jordens egenskaper, som dåligt utvecklad struktur och låg vattenhållande förmåga accentuerats genom att kärllförsöken har utförts med störd och omlagrad jord. Vid denna omlagring förstörs den svaga struktur som eventuellt kan finnas utvecklad under fältförhållanden, på grund av grödornas inverkan t ex genom gamla rotkanaler etc, och som kan tänkas inverka på framförallt vattenrörelser men också på rotframkomlighet på ett positivt sätt. Det är därför möjligt att underbevattningen kan tänkas fungera med ett något lägre vattenstånd under fältförhållanden.

SAMMANFATTNING

Denna studie har utförts i syfte att bedöma Hörby-jordens lämplighet för fullskaliga fältförsök med underbevattning. Avgörande för jordartens lämplighet för underbevattning är dels dess vattentransporterande förmåga, men också faktorer som till exempel grödans rotdjup. Samspelet mellan dessa faktorer i den aktuella jorden, har belysts i en serie kärllförsök, där en gröda odlas i den omlagrade jorden under reglerade förhållanden. Denna serie omfattar fyra försöksled, där vattentillförseln sker genom kapillär upptransport från simulerade grundvattenytor på motsvarande 40, 60, 80 och 100 centimeters djup under markytan. Vattenförbrukning och grödans tillväxt har följts kontinuerligt under försöksperioden, och kompletterande laboratorieundersökningar som bl a mekanisk analys och bindingskaraktäristik har också utförts.

Resultaten från kärllförsöken visar, att inte ens det led där grundvattenytan står på 40 centimeters djup förmår försörja grödan, i detta fall engelskt rajgräs, fullständigt med vatten under hela växtperioden, under förutsättning att inget vatten tillförs ovanifrån. Den främsta orsaken till detta är antagligen att transportavståndet mellan grundvattenyta och rötter är för långt redan vid 15 cm för att erforderlig kvantitet ska kunna transporteras tillräckligt snabbt.

LITTERATUR

- Alinder, S., 1986. Alternativa bevattningsformer 2. Reglering av grundvattennivån. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Rapport 150. 58 s.
- Heiwall, H., 1980. Underbevattning. Studier av grödans tillväxt och vattenförbrukning vid olika djup till grundvattenytan på en sandig grovmo. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Rapport 124. 17 s.

AVLOPPSVATTEN FÖR UNDERBEVATTNING

Försök med biologiskt renat avloppsvatten till underbevattning

Av Staffan Alinder

Inledning

Underbevattning är en bevattningsmetod som innebär att en reglerad grundvattenyta skapas och upprätthålls genom att marken tillförs vatten genom dräneringsledningarna. Oftast regleras grundvattenytan så att den under större delen av odlingsperioden står ovanför dräneringsledningarna som alltså är vattenfyllda. Metoden har ansetts vara en lämplig metod för bevattning med biologiskt renat avloppsvatten, främst av hygieniska skäl, men användandet av sådant vatten kan eventuellt medföra andra problem som till exempel igenväxning av dräneringsledningarna.

För att utröna huruvida, och i så fall hur snabbt, dräneringsledningar som används för underbevattning med biologiskt renat avloppsvatten växer igen, genomfördes under 1983 ett försök vid Länna reningsverk, Uppsala län. Resultaten redovisas i denna skrift.

Huvuddelen av arbetet har utförts av agronom Staffan Alinder. Ingenjör Hans Johansson har renritat figurerna.

Uppsala i maj 1987

Harry Linnér

Försöksanläggningen

Försöksanläggningen (figur 1) utgjordes av fem parallella rörgravar med vardera en infiltrationsledning och en dräneringsledning. Infiltrationsledningarna utgjordes av 4 m långa korrugerade dräneringsslangar med innerdiametern 50 mm. En av infiltrationsledningarna var försedd med kokosfilter medan de fyra övriga saknade filter. Flödet till två av dessa ledningar ströps så att de endast skulle löpa halvfulla. I båda dessa rörgravar hölls "grundvattnet" i nivå med dräneringsledningarna. I de tre återstående rörgravarna hölls vattenytan ovanför infiltrationsledningarna genom att både infiltrationsledningarnas och dräneringsledningarnas utlopp försågs med stigarrör.

Biologiskt renat avloppsvatten pumpades från reningsverket till en brunn som försörjde samtliga infiltrationsledningar med vatten (figur 1). Samtliga ledningar hade utlopp i en dräneringsbrunn, där vattnet samlades upp och pumpades tillbaka in i reningsverket.

Initialt var utloppen från de tre infiltrationsledningarna som stod under vatten försedda med stigare av slang, vilka användes för att reglera vattenståndet i tilllopsbrunnen. Två av dessa stigare ersattes senare med pluggar. Till detta fanns tre skäl:

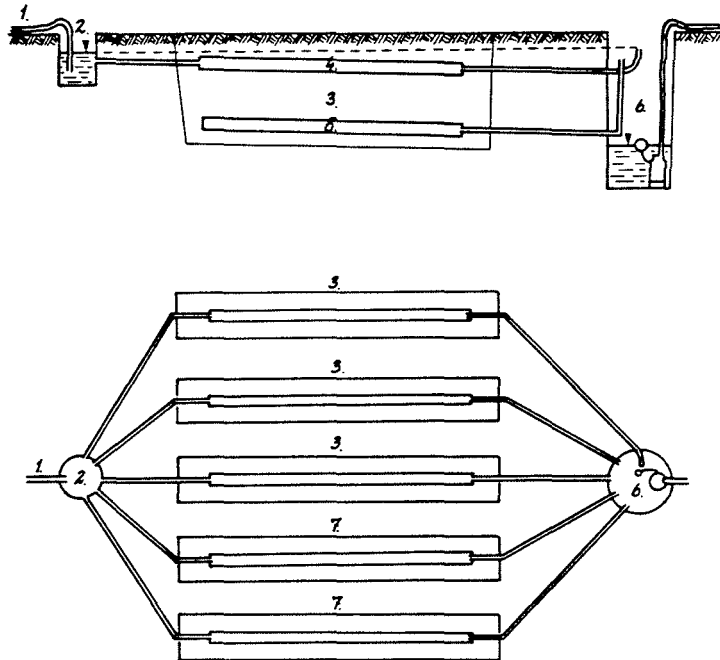
- a) Tillflödet från reningsverket minskade (bakterietillväxt på tillloppsledningens väggar?)
- b) Stigarslangarna var i vägen då returpumpen skulle lyftas i och ur gropan
- c) Ett av utloppen sattes igen av slam och gick inte att rensa

Rörgravarna kläddes med plastfolie för att minimera vattenutbytet med omgivningen och möjliggöra att uppmätt mängd dräneringsvatten skulle kunna sättas lika med infiltrerad vattenmängd.

Ett annat sätt att mäta infiltrationsförmågan var att tillfälligt plugga igen infiltrationsledningens utlopp och sedan ansluta en mariotteflaska till inloppet (använt mättryck: 5 kPa).

Att mäta dräneringsflödet torde vara den bättre metoden, eftersom man då inte påverkar infiltrationsledningarna. Vid tillämpning av metoden med mariotteflaska visade det sig, ifråga om de ledningar som löpte halvfulla, att det var svårt att få igång flödet efter mätningarna utan att slam spolades loss från rörväggarna. Av denna anledning mättes i dessa fall dräneringsflödet i stället, fram till den dag det stod klart att en del av infiltrationsflödet läckte till omgivningen.

Under den första försöksperioden (jan - juli 1983) inträffade ett flertal driftstörningar, främst i form av pumphaverier. Dessa resulterade antingen i att anläggningen dränktes eller i att den torrlades. Vidare förekom det att skräp satte sig för inloppet till någon av infiltrationsledningarna, och då i första hand för de strypta inloppen, samt att slam som lossnade från väggarna i infiltrationsledningarna satte igen utloppen från dessa. Det sist nämnda slammets var lätt att spola loss; mariotteflaskan anslöts till det igensatta utloppet och lyftes så högt som anslutningsslangen tillät. Det sålunda uppnådda vattentrycket på ca 20 kPa var i samtliga fall, utom ett, tillräckligt för att rensa utloppen.



Figur 1. Plan över försöksanläggning för underbevattning med biologiskt renat avloppsvatten.

1. tilloppsledning
2. fördelningsbrunn
3. rörgrav där vattnet står över infiltrationsledningen
4. infiltrationsledning
5. dräneringsledning
6. dräneringsbrunn med nivåstyrd pump
7. rörgrav där vattnet står i nivå med dräneringsledningen

Plan of experimental plot for subirrigation using biologically treated waste water.

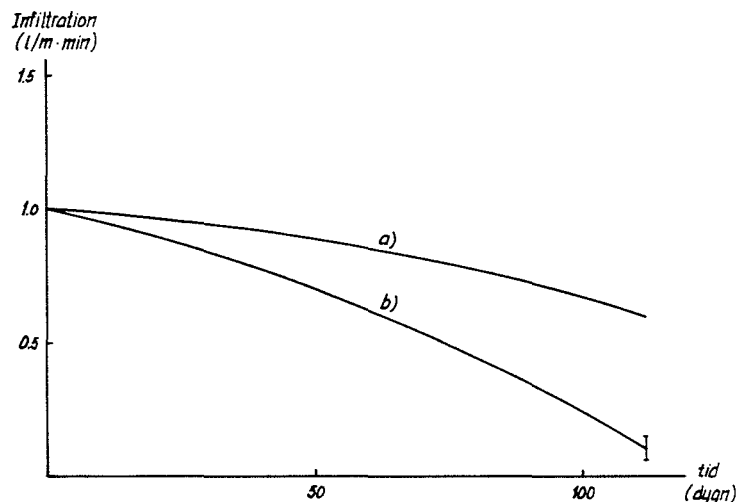
1. supply line
2. distribution well
3. trench with g.w.l. above infiltration pipe
4. infiltration pipe
5. drainage pipe
6. pumped drainage outlet
7. trench with g.w.l. at drainage pipe level

Under den andra försöksperioden (juli - okt 1983) fungerade pumparna oklanderligt. Anläggningen blev ändå dränkt en gång i september, beroende på mycket kraftiga regn. Då ledningen från dräneringspumpen kortades, orkade pumpen med även denna belastning.

Problemen med skräp för inloppen och slamproppar i utloppen fortsatte, men de berodde inte bara på anläggningens utformning, utan också på vattnets sammansättning. Så bildades t ex en fetthinna på vattenytan i fördelningsbrunnen och det var vanligtvis delar av denna hinna som satte sig för inloppsöppningarna.

Resultat

Den första försöksomgången stördes kraftigt av de upprepade pumphaverierna. Den första mätningen med mariotteflaska skedde först 14 dagar efter start och gjordes då endast på de tre ledningar som stod under vatten. Första mätomgången gav värden som var knappt 1/5 av den andra mätomgångens värden. Som utgångsvärde valdes 1,0 l/min, vilket är genomsnittet för andra mätomgångens värden och i nivå med initialvärdena för andra försöksomgången.



Figur 2. Infiltrationskapacitetens utveckling under försöksomgång 1.

- a) en av de nakna ledningarna under vatten
- b) den andra nakna ledningen under vatten, ledningen under vatten med kokosfilter samt de nakna ledningarna ovan vattenytan; lodräta linjen visar det intervall som dessa ledningar slutade inom

Infiltration capacity with time (days) for the first test run.

Line a) shows one of the pipes situated below the groundwater table.

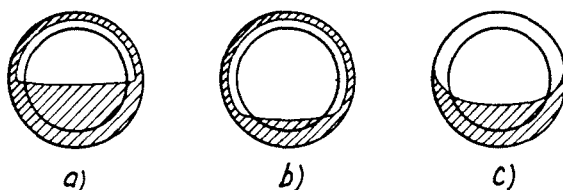
Line b) shows the remaining four pipes: one situated below g.w.l.; one with coconut-fibre wrapping, below g.w.l.; two above g.w.l. The vertical line shows the final infiltration range for these four pipes.

I figur 2 visas resultatet av första försöksomgången. Det lägsta infiltrationsflöde som uppmättes under hela försöket inträffade dag 112 (dvs den 5 maj) under denna försöksomgång. (Figur 2 sträcker sig bara till dag 112.) Infiltrationen från ledningen med kokosfilter var då endast 0,05 l/m/min. Även de andra ledningarna nådde sina lägsta värden under första försöksomgången denna dag.

I samband med att infiltrationen skulle mätas nästa gång, stannade tillloppspumpen och infiltrationsledningarna torrlades. Trots att pumpen sattes igång inom 30 minuter, ökade infiltrationen från samtliga ledningar och för fyra av ledningarna mer än fördubblades den jämfört med föregående mätning. De närmast följande dagarna ökade infiltrationen ytterligare, för att sedan åter avta. I detta skede avbröts omgång ett.

Tre av ledningarna grävdes fram för inspektion: ledningen med kokosfilter, en av ledningarna som stått under vatten och en av ledningarna som löpt halvfulla. Resultatet blev (figur 3):

- a) Ledningen under vattenytan med kokosfilter - halvfull med gråsvart, fast slam, korrugeringen ovanför mitten delvis slamfylld; svag lukt av svavelväte
- b) Ledningen som stått under vattenytan - på botten stod slammet ca 5 mm över korrugeringen, övriga rörväggen till största delen täckt av ett tunt lager slam, slammet var gråsvart och fast
- c) Ledningen som löpt halvfull - på botten stod slammet 10 till 15 mm över korrugeringen, närmast ovanför fanns en del slam i korrugeringen, väggen i övrigt färgad gulbrun, slammet var gråsvart och relativt fast.



Figur 3. Slamavlagring i ledningarna efter omgång 1.

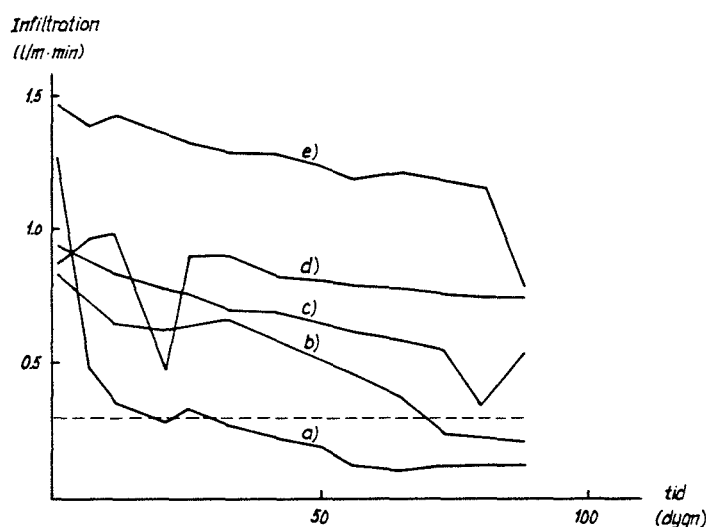
- a) Rör med kokosfilter, under vatten
- b) Rör under vatten
- c) Rör över vatten

Sludge accumulation in the pipes after the first test run.
 a) pipe with coconut-fibre wrapping, below g.w.l.
 b) pipe below g.w.l.
 c) pipe above g.w.l.

Till detta bör fogas att utloppet från ledningen med kokosfilter sattes igen ca två månader före inspektionen, vilket innebär att vattentillförseln varit mycket låg efter denna tidpunkt.

Under försöksomgång två (juli - okt 1983) var utloppen från ledningen med kokosfilter och en av ledningarna som stod under vatten pluggade. Infiltrationen mättes första gången ett dygn efter start. För fyra av ledningarna låg infiltrationen kring 1 l/m/min. Från den sista ledningen, en av dem som löpte halvfull, var infiltrationen 1,5 l/m/min. Infiltrationen mättes sedan var sjunde till tionde dag. Dess utveckling med tiden framgår av figur 4. Den i figuren inlagda linjen visar vilket värde som krävs vid mättryck (5 kPa = 5 m vp) för att vatteninflödet i marken ska motsvara grödans vattenförbrukning en varm sommardag vid 20 m ledningsavstånd.

De kraftiga, men kortvariga, nedgångar i infiltrationskapacitet som finns noterade för tre av ledningarna uppträdde i samband med att respektive utlopp sattes igen av slam. Hur långvariga dessa stoppar var är inte känt. Eftersom de uppstod mellan två mättillfällen kan de dock inte i något fall ha varat mer än tio dygn.



Figur 4. Infiltrationskapacitetens utveckling under försöksomgång 2.

- a) Ledning med kokosfilter, under vatten, pluggat utlopp
- b) Ledning under vatten, pluggat utlopp
- c) Ledning under vatten, utlopp med stigare
- d, e) Ledningar ovan vattenytan

De kraftiga nedgångarna för c) d) och e) noterades i samband med att resp. utlopp sattes igen av slam. När kurvorna går under den streckade linjen är infiltrationen otillräcklig för att försörja grödan med vatten en varm dag vid 20 m ledningsavstånd.

infiltration capacity during test run 2.

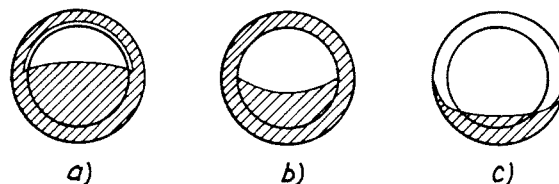
- a) pipe with coconut-fibre wrapping, below g.w.l.
- b), c) pipes below g.w.l.
- d), e) pipes above g.w.l.

When the curve lies below the dotted line infiltration is insufficient to cover evapotranspiration on a warm summers day at a drainspacing of 20 m.

Att övergången från halvfull ledning och aeroba förhållanden till full ledning och anaeroba förhållanden kan ge försämrad infiltrationskapacitet är helt klart. Dels bör slamtillväxten öka, dels kan slam avsättas på hela rörväggen (infiltrationsmätningarna utfördes med rören fullöpande).

Att infiltrationen från en fullöpande ledning snabbt avtar när flödet genom ledningen upphör är mer förvånande. Visserligen minskar syretillförseln kraftigt då vattentillflödet i stort sett upphör, men även materialtillförseln minskar i samma grad. Däremot kommer allt material som tillförs ledningen att stanna kvar.

När stopp i utloppet uppträdde, mättes först infiltrationsflödet varefter utloppet spolades rent. Vid nästa mättillfälle hade infiltrationen återgått till "normal" nivå, vilket är lätt att förklara. När slamproppen i utloppet släpper, går en stötvåg genom infiltrationsledningen i motsatt riktning till den normala strömriktningen. När spolslangen så tas bort från utloppet kommer en ny, men svagare, stötvåg i den normala strömningsriktningen. Till detta kom, för rören som löpte halvfulla, att vattennivån återgick till den normala, och för röret som stod under vatten skedde en viss returspolning från marken till röret eftersom stigaren inte sattes tillbaka förrän utloppsvattnet var i det närmaste fritt från slam (vilket tog någon minut).



Figur 5. Slamavlagring i ledningarna efter försöksomgång 2.

- a) Rör med kokosfilter, under vatten
- b) Rör under vatten
- c) Rör över vattenytan

Sludge accumulation in the pipes after the second test run.

- a) pipe with coconut-fibre wrapping, below g.w.l.*
- b) pipe below g.w.l.*
- a) pipe above g.w.l.*

Dag 93 tömdes den biologiska reningsbassängen i reningsverket. Efter en vecka kördes det biologiska steget igång igen. Under denna tid stod försöksanläggningen stilla, för att sedan köras i tre veckor innan rören grävdes upp för inspektion. Följande iakttagelser gjordes (figur 5):

- a) Ledning under vattenytan med kokosfilter - mer än halvfull med gråsvart, fast slam. Korrugeringen i stort sett fylld med slam
- b) Ledningar under vattenytan - fyllda till ca 1/3 av diametern med gråsvart, fast/relativt fast slam. Korrugeringen nästan helt fylld med slam
- c) Ledningarna som löpt halvfulla - ljusgrått, löst och vattnigt slam till högst 1/4 av diametern. Korrugeringen till större delen slamfri

Om man jämför infiltrationens utveckling mellan de båda försöksomgångarna (figur 2 & 4), finner man att infiltrationen avtog långsammare i början av omgång 1 för att sedan öka, medan förloppet är mer linjärt under omgång 2 (bortsett från ledningen med kokosfilter). Det finns tre rimliga skäl till denna skillnad:

- a) Under försöksomgång 1 höll avloppsvattnet endast några få plusgrader under försökets början, för att under dess senare del hålla drygt 20 grader C. För omgång 2 var förhållandet i någon mån det motsatta.
- b) De upprepade driftsavbrotten under första delen av omgång 1 störde slamtillväxten
- c) Vid början av omgång 2 fanns redan en del slam i ledningarna.

Ett särfall är ledningen med kokosfilter. Den var redan under omgång 1 sämst och under omgång 2 förlorade den hela 70 % av sin initiala infiltrationskapacitet inom loppet av 12 dygn.

Även om man väger in att det använda vattnet var av måttligt god kvalitet (tabell 1), kan man inte rekommendera biologiskt renat avloppsvatten till underbevattning. I synnerhet inte som ledningar med kokosfilter är de som med våra nuvarande kunskaper anses vara bäst till underbevattning.

Tabell 1. Länna avloppsvatten efter biologisk rening.

BOD ₇	mg/l	10 - 40
COD	"	41 - 50
tot-P	"	1,5 - 5,0
tot-N	"	10 - 18
NO ₃ -N	"	4 - 9
SS	"	8 - 17
pH		6,5 - 6,9
siktdjup	m	0,6 - 0,9

LITTERATUR

Alinder, S. 1986. Alternativa bevattningsformer 2. Reglering av grundvattennivån. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Rapport 150. 58 s.